

USP deposita patente da primeira bateria de Nióbio alcançando uma nova fronteira estratégica para o Brasil

Tecnologia supera bloqueio químico histórico, atinge 3 volts e avança para testes industriais



Durante décadas, o nióbio foi visto como um paradoxo na ciência de materiais. Embora seja um metal estratégico, abundante no Brasil e amplamente utilizado em ligas de alto desempenho, ninguém no mundo havia conseguido transformá-lo em uma bateria funcional, estável e recarregável. O obstáculo não estava na engenharia, mas na química extremamente complexa dos componentes ativos à base de nióbio, que se degradam rapidamente em contato com água e oxigênio.

Esse impasse histórico começou a ser superado por uma pesquisa desenvolvida na Universidade de São Paulo, que resultou não apenas em um novo dispositivo tecnológico, mas em uma descoberta científica sobre como controlar a química do nióbio em baterias, protegida por depósito de patente junto à USP.

Uma descoberta científica inspirada na biologia

A história da descoberta começou há cerca de dez anos, quando o professor Frank Crespilho, do Instituto de Química de São Carlos (IQSC/USP), líder do Grupo de Bioeletroquímica e Interfaces da USP e pesquisador do Instituto Nacional de Eletrônica Orgânica e Sustentabilidade (INCT), sediado no Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP), atuava como professor visitante na Harvard University. Na época, ele estudava sistemas biomiméticos, inspirados em processos biológicos capazes de controlar reações químicas extremamente delicadas, como ocorre em enzimas e metaloproteínas.

Do ponto de vista químico, o nióbio é um elemento com uma estrutura eletrônica singular, capaz de acessar múltiplos estados de oxidação próximos em energia. Cada um desses estados representa

um nível eletrônico distinto, potencialmente utilizável para armazenamento de carga. Essa característica torna o nióbio extremamente promissor para aplicações eletroquímicas avançadas.



Prof. Frank Crespilho (IQSC/USP)

No entanto, essa mesma riqueza eletrônica sempre impôs um desafio fundamental: em ambientes eletroquímicos convencionais, especialmente na presença de água e oxigênio, o nióbio sofre com reações químicas parasitas rápidas, levando à formação de espécies inativas e à perda irreversível da atividade redox. A descoberta associada à arquitetura N-MER (*Niobium Multi-stage Electronic Redox*), viabilizada pelo meio redox ativo NB-RAM (*Niobium Redox Active Medium*), nasce da transposição de um princípio já conhecido na biologia — o controle fino do ambiente químico para estabilizar metais altamente reativos — para um sistema artificial de armazenamento de energia.

“Eu já sabia que a natureza resolvia esse problema há bilhões de anos”, explica o Prof. Frank Crespilho. “Em sistemas biológicos, como enzimas e metaloproteínas, metais altamente reativos mudam de estado eletrônico o tempo todo sem se degradar, porque operam dentro de ambientes químicos muito bem controlados. A pergunta que fizemos foi simples e ousada: será que daria para copiar esse princípio e aplicar em uma bateria de nióbio? O nióbio é como um interruptor com muitos níveis, não apenas ligado e desligado. Cada nível guarda uma quantidade diferente de energia. Fora de um ambiente controlado, esse interruptor enferruja e quebra. O que fizemos foi criar uma caixa de proteção inteligente para ele; essa caixa é o NB-RAM. Dentro dela, o interruptor pode mudar de nível várias vezes, de forma controlada, sem se degradar. É exatamente isso que os sistemas biológicos fazem, e foi isso que adaptamos para a bateria de nióbio.”

Dois anos de otimização até a estabilidade

Grande parte do avanço da bateria de nióbio é resultado de um trabalho extenso de otimização conduzido pela doutoranda Luana Italiano, que dedicou dois anos ao refinamento do sistema até

alcançar estabilidade e reprodutibilidade. O processo envolveu dezenas de versões experimentais, com ajustes sucessivos no ambiente químico e nos mecanismos de proteção do material ativo.

“Não bastava fazer a bateria funcionar uma única vez. Ao longo de dois anos de trabalho no projeto, nosso foco foi garantir estabilidade, repetibilidade e controle fino dos parâmetros”, explica Luana. Segundo ela, o principal desafio foi encontrar o equilíbrio entre proteger o sistema e manter seu desempenho elétrico. “Se você protege demais, a bateria não entrega energia. Se protege de menos, ela se degrada.”

Esse refinamento foi essencial para permitir que o nióbio operasse de forma reversível, alternando entre diferentes estados eletrônicos sem perda significativa de desempenho. Como resultado, o sistema passou a funcionar de forma estável não apenas em condições de laboratório, mas também em arquiteturas próximas das utilizadas pela indústria.

“Depois desse período de desenvolvimento e validação, os testes mostram que não estamos falando apenas de um conceito”, destaca a pesquisadora. “É um sistema que já funciona em formatos reais.”

Da descoberta à patente: 3 volts e validação tecnológica

Após o desenvolvimento do protótipo funcional, a tecnologia teve sua patente depositada pela USP e avançou para níveis intermediários de maturidade tecnológica (TRL-4). Essa etapa comprova que a bateria funciona não apenas em condições ideais de laboratório, mas também em ambientes e arquiteturas próximas da realidade industrial. Atingir 3 volts é um marco estratégico.

Essa é a faixa de tensão da maioria das baterias comerciais atuais, o que significa que a bateria baseada na arquitetura N-MER compete diretamente com tecnologias existentes. Para validar essa compatibilidade, a bateria foi testada em formatos industriais padrão, como células tipo coin (moeda) e pouch (laminadas flexíveis), em parceria com o pesquisador Hudson Zanin, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Nesses sistemas, a bateria foi carregada e descarregada diversas vezes, demonstrando a prova de conceito em ambientes controlados.

Tecnologia estratégica, interesse internacional e próximos passos

O avanço científico e tecnológico despertou o interesse de grupos internacionais, incluindo empresas chinesas do setor de baterias, que já entraram em contato para conhecer a tecnologia desenvolvida na USP. Apesar desse interesse externo, Crespilho defende que o desenvolvimento completo da bateria deve permanecer no Brasil, sob liderança do Estado de São Paulo.

“Essa é uma tecnologia estratégica. O depósito da patente garante proteção, mas é o empenho institucional que assegura que ela se transforme em desenvolvimento, indústria e soberania tecnológica”, afirma o pesquisador.

Para avançar e viabilizar a fase 3 do desenvolvimento é necessário empenho institucional para a criação de um centro multimodal de pesquisa e inovação, envolvendo governos estadual e federal, universidades e startups de base tecnológica.

Crespilho finaliza, afirmando que *“A bateria de nióbio desenvolvida na USP mostra que o Brasil não precisa apenas exportar recursos, mas pode liderar tecnologias; desde que a ciência seja tratada como prioridade nacional.”*

Por Assessoria de Comunicação – IFSC/USP